

КЛИНИЧЕСКАЯ ФИЗИОЛОГИЯ

**ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ МУЗЫКАЛЬНОГО ЭЭГ  
НЕЙРОИНТЕРФЕЙСА С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ КОНТУРОМ  
УПРАВЛЕНИЯ ОТ СЕРДЕЧНОГО РИТМА**

© А. И. Федотчев,<sup>1</sup> Г. И. Журавлев,<sup>1</sup> К. И. Ексина,<sup>2</sup>  
О. М. Силантьева,<sup>2</sup> С. А. Полевая<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Институт биофизики клетки РАН, г. Пущино Московской области, Россия  
E-mail: fedotchev@mail.ru

<sup>2</sup> Нижегородский государственный университет им Н. И. Лобачевского,  
Нижний Новгород, Россия

В данной работе проведен сравнительный анализ эффектов при введении в музыкалоподобную стимуляцию, формируемую на основе ЭЭГ осциллятора испытуемого, дополнительных ритмических звуковых сигналов, которые заведомо превышают (120 уд/мин), точно соответствуют (у разных испытуемых от 61 до 98 уд/мин) или ниже (50 уд/мин) сердечного ритма человека. Наиболее выраженные изменения ЭЭГ показателей и показателей вариабельности сердечного ритма относительно фона отмечены в случаях, когда ритм дополнительных звуковых воздействий совпадал с собственным исходным сердечным ритмом испытуемого. Только при таких воздействиях выявлены значимые позитивные сдвиги оценок самочувствия и настроения, а также уменьшение уровня эмоциональной дезадаптации. По-видимому, в этих случаях создаются оптимальные условия для вовлечения интеграционных и резонансных механизмов деятельности центральной нервной системы в оптимизацию функционального состояния организма. Полученные данные свидетельствуют, что разработка музыкального нейроинтерфейса с комплексным использованием управляющих сигналов от биопотенциалов мозга и сердца пациента является перспективным направлением дальнейших исследований.

*Ключевые слова:* электроэнцефалограмма (ЭЭГ), ЭЭГ осцилляторы, музыкальный нейроинтерфейс, ритм сердцебиений.

Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. Т. 104. № 1. С. 122—128. 2018

A. I. Fedotchev,<sup>1</sup> G. I. Zhuravlev,<sup>1</sup> K. I. Eksina,<sup>2</sup> O. M. Silantjeva,<sup>2</sup> S. A. Polevaya.<sup>2</sup> EVALUATION OF EFFICIENCY OF MUSICAL EEG NEUROINTERFACE WITH ADDITIONAL CONTROL CONTOUR FROM HEART RHYTHM. <sup>1</sup> Institute of Cell Biophysics of the RAS, Pushchino, Russia; <sup>2</sup> Nizhny Novgorod State University, Nizhny Novgorod, Russia; e-mail: fedotchev@mail.ru.

In this paper, the effects of additional rhythmic sound signals, which exceed (120 beats per minute), exactly correspond (for different subjects from 61 to 98 bpm) or are below (50 bpm) of the human heart rate are studied. The most pronounced changes in EEG and heart rate variability indices relative to the background were noted only in cases when the rhythm of additional sound stimuli coincided with the patient's own initial heart rhythm. Only with such stimulation, significant positive shifts in self-assessments of health and mood, as well as a decrease in the level of

emotional disadaptation, have been revealed. In these cases, optimal conditions seem to be created for involving the integrative and resonance mechanisms of the central nervous system in the optimization of the organism functional state. Obtained data show that the development of a musical neurointerface with the complex use of control signals from a patient's brain and heart biopotentials is a promising direction for further research.

*Key words:* electroencephalogram (EEG), EEG oscillators, musical EEG neurointerface, heart rhythm.

RUSSIAN JOURNAL OF PHYSIOLOGY. V. 104. N 1. P. 122—128. 2018

Технологии нейроинтерфейсов, включая интерфейсы мозг-компьютер (ИМК) и методы нейробиоуправления (НБУ), представляют собой компьютерные информационно-управляющие системы, которые опосредуют сигнализацию между мозгом и различными технологическими устройствами, автоматически управляя исполнительными приборами или модулируя параметры лечебных воздействий на основе собственных биопотенциалов мозга (электроэнцефалограммы — ЭЭГ) пациента. В последние годы они начинают занимать лидирующие позиции в арсенале средств нелекарственной коррекции состояний и когнитивной реабилитации человека [15].

В данной линии исследований можно выделить две прогрессивные тенденции. Во-первых, это применение музыкальных или музыкоподобных сигналов обратной связи от собственных биоэлектрических характеристик, облегчающих пациенту их восприятие и способствующих увеличению эффективности лечебных воздействий [8, 16, 18, 22]. Во-вторых, это использование мультимодальных [21] или гибридных [25] нейроинтерфейсов. Предложенное пока в самых недавних работах комбинированное применение в нейроинтерфейсах нескольких биоэлектрических процессов человека считается перспективным направлением дальнейших исследований [17].

Ранее нами был разработан и успешно опробован в процедурах коррекции стресс-индуцированных состояний музыкальный ЭЭГ нейроинтерфейс [13]. В нем испытуемым предъявляли музыкоподобные сигналы, по тембру напоминающие звуки флейты, которые плавно варьировали по высоте тона и интенсивности в прямой зависимости от текущей амплитуды доминирующего у субъекта спектрального пика в диапазоне альфа-ритма ЭЭГ (альфа ЭЭГ осциллятора). Наиболее выраженные эффекты были выявлены при придании структурированности предъявляемым звуковым сигналам за счет дополнительного введения в них ритма 1 Гц. Полученные данные позволили предположить, что эффективность музыкального ЭЭГ нейроинтерфейса может быть повышена, если лечебные воздействия будут управляться не только ЭЭГ осцилляторами пациента, но и ритмом его сердечбиений [14].

Цель представленной работы заключалась в экспериментальной проверке данного предположения путем сравнительного анализа эффектов при введении в музыкоподобную стимуляцию, управляемую ЭЭГ осциллятором пациента, ритмических звуковых сигналов, которые превышают, точно соответствуют или ниже сердечного ритма испытуемого. Каждый из 15 испытуемых-добровольцев участвовал в 3 экспериментах с использованием описанного выше музыкального ЭЭГ нейроинтерфейса. Эксперименты отличались друг от друга характером дополнительных ритмических звуковых сигналов, подаваемых на фоне музыкоподобной стимуляции и моделирующих ритм сердечных сокращений субъекта. В одном из 3 экспериментов частота сигналов точно соответствовала исходному пульсу, регистрируемому у данного испытуемого в фоне. В двух других экспериментах эти звуковые сигналы подавались с частотой учащенного (120 уд/мин) или уреженного пульса (50 уд/мин).

## МЕТОДИКА

В исследовании приняли участие 15 испытуемых, средний возраст которых составил  $35.4 \pm 4.6$  лет. Это были сотрудники, магистранты и аспиранты ИБК РАН и Нижегородского университета, добровольно согласившиеся на участие в 3 обследованиях. Исследование проведено в соответствии с Хельсинкской декларацией (принятой в июне 1964 г. в Хельсинки, Финляндия, и пересмотренной в октябре 2000 г. в Эдинбурге, Шотландия) и одобрено Этическим комитетом Института биофизики клетки РАН. От каждого испытуемого получено информированное согласие.

В начале каждого обследования для оценки психофизиологического состояния испытуемых проводился их краткий опрос и начальное тестирование с помощью теста «САН», в котором испытуемые дают оценку текущего самочувствия, активности и настроения [6], и теста «УЭД», дающего возможность определять текущий уровень эмоциональной дезадаптации [3]. Затем устанавливали ЭЭГ-датчики (активный электрод в отведении Cz, референтный и заземляющий — на мочках ушей), оригинальную систему регистрации электрокардиограммы (ЭКГ) с on-line анализом показателей variability сердечного ритма [11] и фиксировали наушники (уровень звука 0—40 дБ, частота 100—2000 Гц). Испытуемых просили сидеть спокойно с закрытыми глазами в течение всей процедуры и «слушать работу собственного мозга».

Эксперимент начинался с 30-секундной записи фоновых значений ЭЭГ и ЭКГ, в ходе которой с помощью оригинальной модификации динамического спектрального анализа, основанного на быстрых преобразованиях Фурье [12], определялся доминирующий у данного испытуемого узкополосный (0.4—0.6 Гц) спектральный компонент в диапазоне альфа-ритма (8—13 Гц) ЭЭГ. Затем на 10 мин включался рабочий режим, где текущая амплитуда выявленного ЭЭГ осциллятора преобразовывалась в музыкаподобные сигналы. Это достигалось путем нормирования в реальное время оцифрованных значений ЭЭГ, при котором наибольшая отрицательная величина ЭЭГ сигнала соответствовала минимальной высоте тона и интенсивности, а наибольшая положительная величина — максимальной высоте тона и интенсивности звуков, генерируемых компьютером и по тембру напоминающих звуки флейты. Звуковые сигналы плавно варьировали по высоте тона (диапазон 100—2000 Гц) и интенсивности (диапазон 0—40 дБ) в прямой зависимости от текущей амплитуды ЭЭГ осциллятора.

Три эксперимента, проведенные с каждым участником, варьировали в случайном порядке по характеру дополнительных ритмических звуковых сигналов, подаваемых на фоне музыкаподобной стимуляции и моделирующих ритм сердечных сокращений субъекта. В одном из них частота сигналов точно соответствовала исходному пульсу, регистрируемому у данного испытуемого в фоне и варьировавшему в группе от 61 до 98 уд/мин. В двух других экспериментах эти звуковые сигналы подавались с частотой учащенного (120 уд/мин) или уреженного пульса (50 уд/мин). По окончании каждого эксперимента испытуемых спрашивали об отмеченных эффектах, а также повторно проводили тестирование с помощью тестов САН и УЭД.

При обработке результатов анализировали следующие показатели: мощности тета-, альфа- и бета-ритмов ЭЭГ, стандартные показатели variability сердечного ритма (BCR) — частоту сердечных сокращений, мощность волн низкой частоты LF, мощность волн высокой частоты HF, общую мощность спектра TP и коэффициент симпатовагусного баланса как отношение LF/HF, а также результаты выполнения тестов САН и УЭД.

Статистическую обработку результатов проводили с помощью пакета программ Origin 6.0 и непараметрического критерия знаковых рангов для малых выборок Вилкоксона [9]. Вычисляли средние для групп значения сдвигов показателей (M) и стандартные ошибки (m). Затем для определения уровней значимости

различий  $p$  подсчитывались суммы рангов для каждого показателя. Для 15 испытуемых сумма рангов меньше 30 означает уровень значимости  $p < 0.05$ , а сумма рангов меньше 20 означает уровень значимости  $p < 0.01$ .

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В связи с тем что индивидуальные значения регистрируемых показателей значительно варьировали от испытуемого к испытуемому, для каждого показателя вычисляли его изменение (со знаком) при каждом воздействии относительно исходного уровня, выраженное в процентах. Полученные данные представлены в таблице.

В таблице, где изменения показателей, достигшие уровня значимости, выделены жирным шрифтом, можно видеть, что под влиянием примененных воздействий наблюдаются как неспецифические, так и специфические эффекты, обусловленные видом стимуляции.

К неспецифическим эффектам можно отнести значимый рост мощности бета-ритма ЭЭГ и достоверное снижение сердечного ритма, которые выявлены при всех 3 видах воздействий.

Что касается специфических эффектов, то здесь наибольшее количество значимых сдвигов зарегистрировано при воздействиях, в которых музыкаподобная акустическая стимуляция, управляемая ЭЭГ осциллятором испытуемого, дополняется звуковыми сигналами, моделирующими собственный ритм сердечных сокращений субъекта. Только в этих случаях отмечается достоверный рост мощности всех ритмов ЭЭГ, значимое снижение мощности низкочастотного компонента ВСП и общей мощности спектра ВСП, а также достоверные позитивные сдвиги субъективных оценок самочувствия и настроения в тесте САН и значимое снижение уровня эмоциональной дезадаптации в тесте УЭД. Еще один значимый

Изменения (%) показателей относительно фона и значимые суммы рангов для трех типов воздействий

Показатель	Воздействие с ритмом 50 уд/мин		Воздействие с собственным ритмом сердца		Воздействие с ритмом 120 уд/мин	
	$M \pm m$	$\Sigma$ рангов	$M \pm m$	$\Sigma$ рангов	$M \pm m$	$\Sigma$ рангов
ЭЭГ, тета-ритм	3.4 ± 2.7		<b>6.4 ± 2.6</b>	<b>26.5*</b>	5.7 ± 3.7	
ЭЭГ, альфа-ритм	-0.1 ± 3.9		<b>9.2 ± 3.3</b>	<b>22*</b>	4.6 ± 4.5	
ЭЭГ, бета-ритм	<b>11.3 ± 4.3</b>	<b>22.5*</b>	<b>14.0 ± 2.8</b>	<b>3**</b>	<b>20.2 ± 5.8</b>	<b>6**</b>
Ритм сердцебиений	<b>-3.2 ± 0.8</b>	<b>6.5**</b>	<b>-1.6 ± 0.4</b>	<b>11.5**</b>	<b>-2.5 ± 1.0</b>	<b>12.5**</b>
LF компонент ВСП	16.4 ± 15.0		<b>-27.1 ± 9.4</b>	<b>15.5**</b>	-2.9 ± 10.7	
HF компонент ВСП	18.4 ± 14.5		-11.0 ± 8.2		12.6 ± 9.4	
TP — общая мощность ВСП	3.8 ± 11.0		<b>-24.2 ± 7.1</b>	<b>17**</b>	-4.5 ± 10.2	
Отношение LF/HF	3.7 ± 15.1		-7.5 ± 14.0		-4.8 ± 12.6	
Тест САН — самочувствие	4.3 ± 2.3		<b>7.0 ± 2.3</b>	<b>11**</b>	2.3 ± 1.8	
Тест САН — активность	1.3 ± 1.9		3.6 ± 2.5		<b>3.6 ± 1.8</b>	<b>23*</b>
Тест САН — настроение	2.8 ± 2.0		<b>4.3 ± 1.9</b>	<b>21.5*</b>	1.5 ± 1.5	
Тест УЭД	-0.3 ± 0.2		<b>-0.4 ± 0.2</b>	<b>20*</b>	-0.3 ± 0.2	

Примечание. \* $p < 0.05$ ; \*\* $p < 0.01$ .

сдвиг отмечен в отношении показателя активности в тесте САН, который достоверно увеличился при воздействии с учащенным (120 уд/мин) дополнительным ритмом.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Отмеченные неспецифические эффекты — рост мощности бета-ритма ЭЭГ и снижение сердечного ритма при стимуляции относительно фона — ранее отмечались в разных экспериментальных ситуациях [2, 7]. Можно предположить, что эти эффекты обусловлены ориентировочными реакциями испытуемых на участие в необычном эксперименте [10] и мотивацией достижения [4].

Специфические эффекты отмечены, главным образом, для воздействий, в которых музыкаподобная акустическая стимуляция, управляемая ЭЭГ осциллятором испытуемого, дополняется звуковыми сигналами, моделирующими собственный ритм сердечных сокращений субъекта. В этих условиях происходит рост мощности тета-, альфа- и бета-ритмов ЭЭГ, что ранее отмечалось при проведении процедур ЭЭГ биоуправления [1]. Кроме того, снижаются относительно исходного уровня LF компонент ВСР и общая мощность спектра ТР. Как показано ранее, такие изменения характерны при мыслительной или эмоциональной деятельности испытуемых [5].

Особый интерес представляет вопрос о том, какое влияние на человека может оказывать обратная связь от ритма его сердцебиений. Из литературы известно, что такая обратная связь может способствовать адекватному формированию эмоций и интуитивному принятию решений [19], а также улучшать процессы эмоциональной памяти [24]. В то же время известно, что искажение обратной связи, т. е. предъявление ритма, не совпадающего с собственным ритмом сердцебиений испытуемого, может приводить к негативным эффектам, например к увеличению тревожности у пациентов с паническими атаками [20, 26].

В наших исследованиях только при воздействиях, сопровождаемых собственным ритмом сердцебиений испытуемого, наблюдались значимые позитивные сдвиги оценок самочувствия и настроения в тесте САН и уменьшение уровня эмоциональной дезадаптации в тесте УЭД. Полученные данные свидетельствуют о том, что при таких воздействиях в полной мере проявляются преимущества взаимодействия музыкаподобных сигналов с характеристиками деятельности сердечно-сосудистой системы пациента [23]. Что касается достоверного роста показателя активности в тесте САН при введении дополнительного ритма 120 уд/мин, то этот эффект может быть обусловлен механизмами взаимоотношений между собственными осцилляторными процессами в деятельности сердечно-сосудистой системы испытуемых и активационным влиянием повышенного темпа акустических воздействий [27].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В предпринятом нами исследовании музыкаподобные лечебные воздействия осуществлялись не только в строгом соответствии со значимыми биоэлектрическими характеристиками мозга индивида — узкочастотными ЭЭГ осцилляторами, но и сопровождалась дополнительными акустическими сигналами, моделирующими ритм сердцебиений человека. В этих условиях наиболее выраженные объективные и субъективные эффекты отмечены в случаях, когда ритм дополнительных звуковых воздействий совпадал с собственным исходным ритмом сердца испытуемого. По-видимому, в этих случаях создаются оптимальные условия для подстройки параметров воздействия под индивидуальные свойства нервной системы испытуемых. Выявленные позитивные эффекты таких воздействий могут объясняться вовлечением интеграционных и резонансных механизмов дея-

тельности центральной нервной системы в оптимизацию функционального состояния организма.

Полученные данные свидетельствуют, что разработка музыкального нейроинтерфейса с комплексным использованием управляющих сигналов от биопотенциалов мозга и сердца пациента является перспективным направлением дальнейших исследований. Такие нейроинтерфейсы могут найти применение в широком спектре реабилитационных процедур, в кабинетах психологической разгрузки на производстве, в образовательных учреждениях для активизации познавательной деятельности человека и процессов его обучения, в военной и спортивной медицине, медицине катастроф, научных исследованиях.

Работа выполнена при поддержке Российского гуманитарного научного фонда, гранты РГНФ № 15-06-10894 и 16-06-00133.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] *Асланян Е. В., Кирой В. Н., Столетний А. С., Лазуренко Д. М., Бахтин О. М., Миняева Н. Р., Кирой Р. И.* Влияние индивидуальных особенностей на способность к произвольной регуляции человеком выраженности в ЭЭГ альфа- и бета-частот. Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. 101 (5): 599—613. 2015.
- [2] *Ведясова О. А., Павленко С. И., Кретова И. Г., Комарова М. В.* Влияние информационной нагрузки на динамику спектральных параметров variability сердечного ритма у студентов с разными хронотипами. Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. 102(8): 990—1001. 2016.
- [3] *Григорьева В. М., Тхостов А. Ш.* Способ оценки эмоционального состояния человека. Патент РФ № 2291720 С1. 20.01.2007.
- [4] *Джебраилова Т. Д., Коробейникова И. И., Руднева Л. П.* Влияние мотивации на спектральные характеристики ЭЭГ и сердечный ритм у студентов в экзаменационной ситуации. Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. 100 (9): 1076—1087. 2014.
- [5] *Дмитриев Д. А., Саперова Е. В.* Variability сердечного ритма и артериальное давление при ментальном стрессе. Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. 101(1): 98—107. 2015.
- [6] *Доскин В. А., Лаврентьева Н. А., Мирошников М. Н., Шарай В. В.* Тест дифференцированной самооценки функционального состояния. Вопросы психологии. (6): 141—145. 1973.
- [7] *Иржак Л. И., Бойко Е. Р.* Спектральные показатели variability сердечного ритма у человека в условиях острой нормобарической гипоксии. Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. 101(1): 108—113. 2015.
- [8] *Константинов К. В., Леонова М. К., Мирошников Д. Б., Клименко В. М.* Особенности восприятия акустического образа собственной биоэлектрической активности головного мозга. Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. 100(6): 710—721. 2014.
- [9] *Наследов А. Д.* Профессиональный статистический анализ данных. СПб. Питер. 2011.
- [10] *Павлов С. В., Рева Н. В., Локтев К. В., Коренек В. В., Афтанас Л. И.* Влияние практики медитации на сердечно-сосудистый ответ при восприятии и когнитивной переоценке эмоциональных стимулов. Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. 101(3): 360—373. 2015.
- [11] *Полевая С. А., Некрасова М. М., Рунова Е. В., Бахчина А. В., Горбунова Н. А., Брянцева Р. В., Кожевников В. В., Шишалов И. С., Парин С. Б.* Дискретный мониторинг и телеметрия сердечного ритма в процессе работы на компьютере для оценки и профилактики утомления и стресса. Мед. альманах. 2(26): 151—155. 2013.
- [12] *Федотчев А. И.* Об эффективности процедур биоуправления с обратной связью от ЭЭГ пациента при коррекции функциональных нарушений, вызванных стрессом. Физиология человека. 36(1): 100—105. 2010.
- [13] *Федотчев А. И., Бондарь А. Т., Бахчина А. В., Парин С. Б., Полевая С. А., Радченко Г. С.* Эффекты музыкально-акустических воздействий, управляемых ЭЭГ осцилляторами субъекта. Рос. физиол. журн. им. И. М. Сеченова. 101(8): 970—977. 2015.

- [14] Федотчев А. И., Бондарь А. Т., Бахчина А. В., Григорьева В. Н., Катаев А. А., Парин С. Б., Полевая С. А., Радченко Г. С. Трансформация ЭЭГ осцилляторов пациента в музыкаподобные сигналы при коррекции стресс-индуцированных функциональных состояний. *Современные технологии в медицине*. 8(1): 93—98. 2016.
- [15] Федотчев А. И., Парин С. Б., Полевая С. А., Великова С. Д. Технологии «интерфейс мозг-компьютер» и нейробиоуправление: современное состояние и перспективы клинического применения. *Современные технологии в медицине*. 9(1):175—184. 2017.
- [16] Bergstrom I., Seinfeld S., Arroyo-Palacios J., Slater M., Sanchez-Vives M. V. Using music as a signal for biofeedback. *Int. J. Psychophysiol.* 93 (1) : 140—149. 2014.
- [17] Choi I., Rhiu I., Lee Y., Yun M. H., Nam C. S. A systematic review of hybrid brain-computer interfaces: Taxonomy and usability perspectives. *PLoS One*. 12(4): e0176674. eCollection 2017.
- [18] Daly I., Williams D., Kirke A., Weaver J., Malik A., Hwang F., Miranda E., Nasuto S. J. Affective brain-computer music interfacing. *J. Neural. Eng.* 3(4): 046022. 2016.
- [19] Dunn B. D., Galton H. C., Morgan R., Evans D., Oliver C., Meyer M., Cusack R., Lawrence A. D., Dalgleish T. Listening to your heart. How interoception shapes emotion experience and intuitive decision making. *Psychol Sci.* 21(12):1835—1844. 2010.
- [20] Ehlers A., Margraf J., Roth W. T., Taylor C. B., Birbaumer N. Anxiety induced by false heart rate feedback in patients with panic disorder. *Behav. Res. Ther.* 26(1):1—11. 1988.
- [21] Gui K., Liu H., Zhang D. Towards multimodal human-robot Interaction to enhance active participation of users in gait rehabilitation. *IEEE Trans Neural Syst Rehabil Eng.* doi: 10.1109/TNSRE.2017.2703586. Epub 2017 May 11.
- [22] Heo J., Baek H. J., Hong S., Chang M. H., Lee J. S., Park K. S. Music and natural sounds in an auditory steady-state response based brain-computer interface to increase user acceptance. *Comput. Biol. Med.* 84:45—52. 2017.
- [23] Koelsch S., Jäncke L. Music and the heart. *Eur. Heart J.* 36(44):3043—3049. 2015.
- [24] Pfeifer G., Garfinkel S. N., Gould van Praag C. D., Sahota K., Betka S., Critchley H. D. Feedback from the heart: Emotional learning and memory is controlled by cardiac cycle, interoceptive accuracy and personality. *Biol. Psychol.* 126:19—29. 2017.
- [25] Shin J., Müller K. R., Schmitz C. H., Kim D. W., Hwang H. J. Evaluation of a compact hybrid brain-computer interface system. *Biomed. Res. Int.* 2017:6820482. doi: 10.1155/2017/6820482. Epub Mar 8 2017.
- [26] Story T. J., Craske M. G. Responses to false physiological feedback in individuals with panic attacks and elevated anxiety sensitivity. *Behav. Res. Ther.* 46(9):1001—1008. 2008.
- [27] Watanabe K., Ooishi Y., Kashino M. Heart rate responses induced by acoustic tempo and its interaction with basal heart rate. *Sci Rep.* 7:43856. doi: 10.1038/srep43856. Epub Mar 7 2017.

Поступила 23 VIII 2017  
После доработки 10 XI 2017